

**EVALUACIÓN DE RIESGO EN PORTAFOLIOS  
DE DEUDA PÚBLICA UTILIZANDO  
COBERTURAS CON FUTURO SOBRE BONO NOCIONAL**

**DIEGO FERNANDO FORERO DÍAZ**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE SISTEMAS E INDUSTRIAL  
Bogotá, 2009**

**EVALUACIÓN DE RIESGO EN PORTAFOLIOS  
DE DEUDA PÚBLICA UTILIZANDO  
COBERTURAS CON FUTURO SOBRE BONO NOCIONAL**

**DIEGO FERNANDO FORERO DÍAZ  
Código 822006**

**Trabajo de grado presentado  
para optar al título de  
Magíster en Ingeniería Industrial**

**DIRIGIDO POR:**

**DIEGO FERNANDO HERNANDEZ LOSADA**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE SISTEMAS E INDUSTRIAL  
Bogotá, 2009**

## **TÍTULO EN ESPAÑOL :**

**Evaluación de Riesgo en Portafolios de de Deuda Pública utilizando coberturas con Futuro sobre Bono Nocional**

## **TÍTULO EN INGLÉS:**

**Risk Evaluation in Public Debt Portfolios using hedging with Notional Bond Futures**

## **RESUMEN EN ESPAÑOL:**

---

Ante el desarrollo reciente del mercado de Derivados colombiano, es necesario medir de la efectividad de estos instrumentos para la administración de portafolios. Se hace una evaluación del efecto de las coberturas con futuros en portafolios de Deuda Pública ante movimientos de la Curva de Rendimientos. Se encuentra que el uso de futuros es favorable para todos los portafolios, pero en especial para los concentrados en tramos largos de la curva de rendimientos. Esto indica que el uso de Derivados no es atractivo en escenarios de desaceleración económica, situación en la cual los inversionistas prefieren títulos con vencimiento próximo, no obstante, sigue siendo una opción necesaria para los administradores de portafolio con el fin de cubrir sus posiciones en títulos de Deuda Pública.

## **TRADUCCIÓN DEL RESUMEN AL INGLÉS:**

Given the recent development of derivatives market in Colombia, is necessary to measure the effectiveness of these instruments for portfolio management. The document makes an assessment of the effect of hedging with public debt futures in yield curve movements. The use of futures is favorable for all portfolios, but especially for the concentrated on long term yield curve. This indicates that the use of derivatives is not attractive in economic slowdown scenarios, a situation in which investors prefer next maturation securities, however, remains a necessary option for portfolio managers in order to hedge their positions in public debt securities.

## **DESCRIPTORES O PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL:**

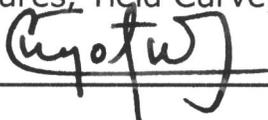
Riesgo en Renta Fija, Futuros Financieros, Curva de Rendimientos, Administración de portafolios.

## **TRADUCCIÓN AL INGLÉS DE LOS DESCRIPTORES:**

---

Fixed income Risk, Financial Futures, Yield Curve, Portfolio Management.

**FIRMA DEL DIRECTOR:** \_\_\_\_\_



Nombre completo del autor y (Año de nacimiento):

**DIEGO FERNANDO FORERO DÍAZ (1984)**

---

*A Dios  
de quien proceden la sabiduría  
y el buen uso del conocimiento.*

*A mi madre y mi hermano,  
por respaldar mis sueños.*

*A la familia de la BVC,  
por las invaluable ideas  
durante este proceso.*

## CONTENIDO

	Pág.
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>2. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA</b>	<b>3</b>
<b>3. OBJETIVOS</b>	<b>4</b>
<b>4. MARCO TEÓRICO</b>	<b>5</b>
<b>4.1. EL MERCADO DE DEUDA PÚBLICA EN COLOMBIA</b>	<b>5</b>
<b>4.2. GENERALIDADES DEL MERCADO DE RENTA FIJA</b>	<b>7</b>
4.2.1. Conceptos Fundamentales	7
4.2.2. Estructura Temporal de las Tasas de Interés	9
4.2.3. La Curva de Rendimientos	10
4.2.4. Tipos de movimientos de la Curva de Rendimientos	12
4.2.5. Teorías que explican la estructura temporal de las Tasas de Interés	15
<b>4.3. RIESGOS EN EL MERCADO DE RENTA FIJA</b>	<b>16</b>
4.3.1. La relación riesgo-rendimiento	16
4.3.2. Medición de riesgo de mercado en títulos de renta fija	20
4.3.3. Valor en Riesgo en Renta Fija	22
4.3.4. Medición de riesgo en el caso colombiano	26
<b>4.4. DERIVADOS SOBRE TÍTULOS DE RENTA FIJA</b>	<b>29</b>
4.4.1. Generalidades del mercado de Derivados y futuros financieros	29
4.4.2. Futuro sobre Bono Nocional	29
<b>4.5. ESTRATEGIAS DE COBERTURA CON FUTUROS</b>	<b>36</b>
<b>5. MARCO METODOLÓGICO</b>	<b>39</b>
<b>6. METODOLOGÍA DESARROLLADA</b>	<b>41</b>
6.1. Conformación de portafolios	42
6.2. Estimación del VaR	48
6.3. Generación de escenarios de movimiento a lo largo de la curva	53
6.4. Prueba de hipótesis	59
<b>7. CONCLUSIONES</b>	<b>62</b>
<b>8. GLOSARIO</b>	<b>65</b>
<b>9. BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>68</b>
<b>ANEXO 1</b>	<b>73</b>
<b>ANEXO 2</b>	<b>79</b>

## 1. INTRODUCCION

Desde la emisión de los Títulos de Tesorería TES, el mercado de Deuda Pública ha experimentado un notable crecimiento, siendo en la actualidad el de mayor liquidez respecto a las demás opciones en el mercado de valores colombiano. Su participación es cercana al 75% del total de las operaciones, constituyendo volúmenes diarios por encima de los 8 billones tanto en el mercado de negociación como de registro<sup>1</sup>.

El mercado de deuda pública colombiano constituye en el principal segmento por parte de los agentes financieros, por su alto volumen de negociación y participación en los portafolios de inversión. Por esta razón, es el que mayor impacto tiene en los portafolios de entidades públicas y privadas, fondos de pensiones, fondos de inversión, comisionistas de bolsa y demás actores que intervienen en el mercado de capitales colombiano.

Como mecanismo de información de precios en este mercado, la Bolsa de Valores de Colombia –BVC- construye una curva de rendimientos que sirve de referencia para la toma de decisiones por parte de los agentes del mercado. La curva de rendimientos es utilizada para valorar los portafolios a precios de mercado según la normatividad vigente y hacer un seguimiento sobre el cambio en las tasas de interés por cada uno de los vencimientos.

No obstante, el mercado ha contado con una debilidad y es la ausencia de instrumentos de cobertura que permitan a los agentes cubrirse ante el riesgo de movimientos en la tasa de interés. Ante esta situación, la administración de riesgos ha carecido de un componente que desde procesos como Basilea II demandan de especial atención, puesto que es necesario un mercado de derivados que brinde las opciones necesarias para cubrir el riesgo en los portafolios de deuda.

En vista de esta situación, la BVC ha venido desarrollando el mercado de derivados estandarizados, el cual inició operaciones en septiembre de 2008; el mercado inició con un producto encaminado a la Deuda Pública, denominado Futuro sobre Bono Nacional, el cual se explicará en detalle más adelante.

---

<sup>1</sup> Bolsa de Valores de Colombia-BVC, 2009 y Sistema Electrónico de Negociación-SEN, 2009

Debido a la reciente aparición de este mercado, son muchas las expectativas por parte de los agentes, básicamente porque quieren saber con un grado de certeza si los Futuros ofrecidos por la BVC van a ser una adecuada herramienta para el manejo del riesgo en las inversiones de deuda pública y si podrán utilizar las herramientas de cobertura ante cambios en las expectativas de las tasas de interés futuras.

Es por esta razón, que se quiere plantear en este trabajo un análisis de las estrategias posibles con futuros ante cambios en la curva de rendimientos de los TES en Colombia para así llegar a conclusiones sobre la efectividad de los instrumentos disponibles para cubrir los riesgos de mercado existentes.

## **2. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA**

Considerando que la incorporación del mercado de futuros en el país busca atender las carencias existentes en cuanto a la administración de riesgos, es importante analizar el efecto de incluir estas operaciones en los portafolios de deuda pública, y poder medir así el cambio en la exposición al riesgo luego de incluir posiciones en futuros.

Los agentes tienen unos compromisos de reportar su posición de riesgo ante la Superintendencia Financiera de Colombia, por medio de una metodología establecida por esta entidad. Los resultados de esta posición en riesgo se ven afectados cuando los agentes incorporan en sus portafolios posiciones en Futuros.

Sin embargo, existe incertidumbre acerca de cuál será el efecto real en los portafolios, si los instrumentos del Futuro son suficientes o no para cubrirse ante los movimientos de la curva de rendimientos, por lo cual se hace pertinente este trabajo al evaluar el resultado en el desempeño del portafolio al tomar una posición en el Futuro sobre Bono Nacional.

Si el mercado no tiene claro como cubrir el riesgo con futuros o si tampoco tienen certeza del grado de cobertura que alcanzarían, es posible que algunos agentes no se vean interesados a operar en el mercado de derivados, impidiendo el desarrollo de este mercado. Por otra parte, la BVC no tendría claridad acerca de si ofrece los productos suficientes para administración del riesgo y cuales debería desarrollar para ofrecer al mercado mejores opciones de cobertura.

### **3. OBJETIVOS**

#### **Objetivo General**

Determinar el efecto de las coberturas con Futuro sobre Bono Nocial en los portafolios de deuda pública ante movimientos en la curva de rendimientos.

#### **Objetivos específicos**

- Estudiar la teoría de portafolios en renta fija y los derivados para este mercado.
- Comprender en detalle las teorías que explican los cambios en las curvas de rendimientos, sus implicaciones en la formación de precios y sus aplicaciones en la administración de portafolios para el caso colombiano.
- Revisar las metodologías de medición de riesgo financiero en renta fija, tanto establecidas por entidades de control como alternativas propuestas por el mercado.
- Analizar las estrategias con Futuros ante los distintos cambios posibles en la curva de rendimientos.
- Definir portafolios sobre los cuales se determinen estrategias de cobertura ante movimientos de la curva de rendimientos y se mida su desempeño, aplicando así la teoría al caso colombiano.
- Encontrar factores que puedan incidir en el atractivo para los inversionistas a cubrirse con futuros con las alternativas existentes en el mercado.

## 4. MARCO TEÓRICO

### 4.1. El Mercado de Deuda Pública en Colombia

Como mecanismo de financiación del Estado, el gobierno nacional emite títulos de Deuda Pública interna, denominados TES, los cuales pueden ser emitidos en pesos, Unidad de Valor Real –UVR- o Tasa Representativa del Mercado –TRM- y pagaderos a tasa fija o variable.

El mercado de deuda pública ha representado el de mayor dinamismo y liquidez en el mercado de valores colombiano, alcanzando superiores incluso al 90% de la negociación total. Adicionalmente, la Ley del Mercado de Valores de 2005 ha permitido un gran ajuste del marco normativo para que el mercado colombiano se amolde a los estándares internacionales.

La alta liquidez del mercado de contado de Deuda Pública ha permitido el desarrollo de otras operaciones de fondeo e inversión del mercado monetario como los Repos y Simultáneas, permitiendo la obtención de recursos en préstamo dejando como garantía o intercambiando los TES. El volumen de estas operaciones ha llegado incluso en algunos momentos a duplicar el monto de operaciones en el mercado de compraventas de contado.

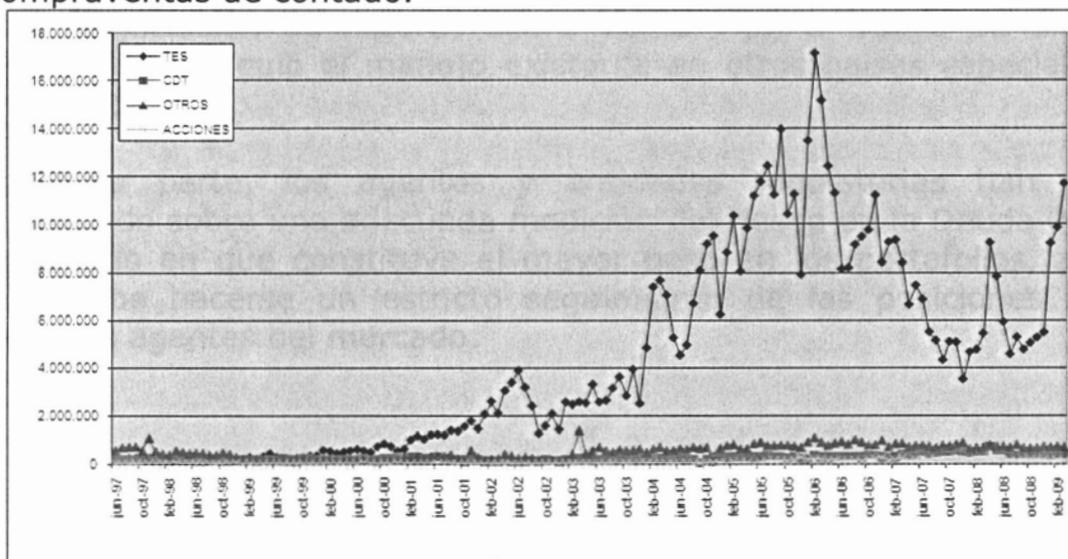


Gráfico 1. Promedio diario transado Mercado de Valores colombiano 1997-marzo 2009.  
En millones de pesos

Fuente: Cifras de Mercado BVC 2009

FECHA	TES	CDT	OTROS	ACCIONES
01/03/2008	80,39%	7,44%	9,99%	2,18%
01/04/2008	84,58%	6,43%	7,21%	1,78%
01/05/2008	83,94%	5,95%	7,73%	2,37%
01/06/2008	80,08%	7,61%	9,88%	2,43%
01/07/2008	79,85%	5,74%	11,97%	2,44%
01/08/2008	80,51%	5,29%	12,09%	2,11%
01/09/2008	79,34%	6,52%	11,12%	3,02%
01/10/2008	81,17%	5,31%	10,55%	2,98%
01/11/2008	81,67%	5,40%	10,31%	2,62%
01/12/2008	81,32%	5,65%	10,86%	2,16%
01/01/2009	88,79%	3,60%	6,69%	0,92%
01/02/2009	88,55%	3,81%	6,49%	1,15%
01/03/2009	90,84%	2,93%	5,35%	0,88%

Tabla 1

Detalle volumen porcentual promedio diario negociado  
01/03/08- 01/03/09

Fuente: Cifras de Mercado BVC 2009

A pesar de lo anterior, en los últimos años se hizo evidente una carencia ante la ausencia de instrumentos de cobertura a las diferentes posiciones de portafolio en los agentes (Clavijo, 2006). En vista de esta situación, la Bolsa de Valores de Colombia inició el proyecto para la constitución del Mercado Estandarizado de Derivados, lo cual implicaba a su vez la creación de la Cámara de Riesgo Central de Contraparte

El proyecto se inició desde 2005 y para septiembre de 2008 se dio inicio a la negociación de Futuros sobre Renta Fija, a través de un Bono Nocional que siguió el manejo existente en otros países especialmente de Europa.

Por otra parte, los agentes y entidades regulatorias han venido avanzando sobre una adecuada medición del riesgo en la Deuda Pública, soportado en que constituye el mayor peso en los portafolios, ante lo cual debe hacerse un estricto seguimiento de las posiciones de los distintos agentes del mercado.

## **4.2. GENERALIDADES DEL MERCADO DE RENTA FIJA**

### **4.2.1. Conceptos fundamentales**

Un título de renta fija -bonos- es aquel cuya rentabilidad puede ser determinada desde el momento de su emisión o adquisición, de acuerdo a las condiciones preestablecidas. Generalmente equivalen a un préstamo otorgado por la entidad que lo emite. Se definen los siguientes conceptos que están asociados a un bono:

*Valor Par:* Es la cantidad que se paga al emisor en el inicio del bono y que se reembolsa al final del plazo. También se le conoce valor nominal.

*Fecha de emisión:* Fecha de inicio del Bono, en la cual el emisor recibe el valor nominal.

*Fecha de vencimiento:* Es la fecha especificada en la cual el emisor paga el valor nominal del título.

*Cupón:* Es el pago de interés sobre el valor nominal que se hace sobre un bono con una periodicidad previamente convenida.

*Rendimiento al Vencimiento:* Es la tasa requerida en el mercado sobre un bono, también se le denomina tasa de interés del bono.

Por lo general, los bonos tienen pago de cupones periódicos<sup>2</sup>, por lo cual su comportamiento viene a estar dado como se presenta en el gráfico 2.

---

<sup>2</sup> Existen también títulos que no tienen pago de cupones entre la fecha de emisión y vencimiento. Estos pagan una rentabilidad fija al final del período y se negocian al descuento, es decir por debajo de su valor nominal.

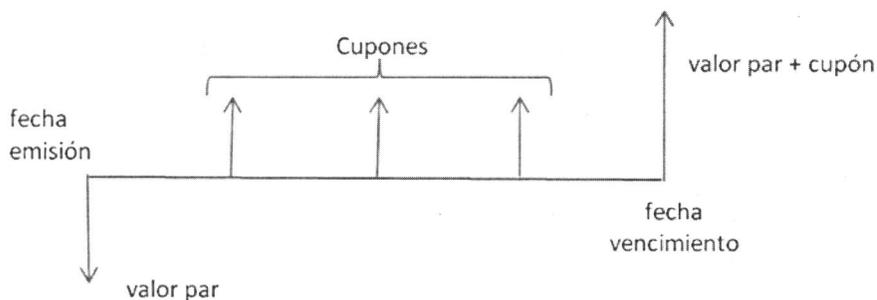


Gráfico 2  
Estructura de flujos de un Bono con cupones

Hay que anotar que en el último cupón, se recibe también el Valor par. El precio de un bono es determinado según las condiciones de emisión descritas, es calculado de la siguiente manera:

$$P = \sum_{k=0}^n \frac{F_k}{(1+i)^{n_k/base}} \quad (1)$$

Donde:

$P$  es el precio del Bono

$F_k$  Es el cupón que se recibe en el período de pago  $k$

$n_k$  Son los días comprendidos entre la fecha de pago del flujo  $k$  y la fecha de vencimiento del título

$i$  es la tasa de interés de mercado a la que se descuentan los cupones.

$base$  Constituye el número de días sobre los cuales se liquidan los intereses, puede ser base 360, 365 o real (incluyendo el bisiesto). Para el caso de los TES se valoran con base 360

Se puede tomar como ejemplo calcular el precio de un Título de Tesorería- TES- con fecha de emisión el 12 de septiembre de 2004, vencimiento el 12 de septiembre de 2014, tasa facial del 13,5% anual vencido. Tomando como valor par \$100.000.000, tasa de mercado del 9,93%, para el 2 de marzo de 2009, se calcula el precio de la siguiente manera:

$$P = \frac{13,5}{(1,0993)^{\frac{194}{365}}} + \frac{13,5}{(1,0993)^{\frac{559}{365}}} + \frac{13,5}{(1,0993)^{\frac{924}{365}}} + \frac{13,5}{(1,0993)^{\frac{1290}{365}}} + \frac{13,5}{(1,0993)^{\frac{1655}{365}}} + \frac{113,5}{(1,0993)^{\frac{2020}{365}}}$$

Lo cual da un precio de 120,799

A partir de la fórmula anterior, es posible inferir los siguientes principios para la fijación de precio en los bonos, Fabozzi (2000):

- Cuando la tasa cupón es igual a la tasa de rendimiento del mercado, el precio del bono es equivalente a su valor nominal.
- El precio de los bonos se mueve en forma inversa a las tasas de interés.
- Mientras más lejano se encuentre el vencimiento de un bono, más sensible es su precio a un cambio en las tasas de interés manteniendo los demás factores constantes.
- La sensibilidad del precio de un bono aumenta con el vencimiento, pero a una tasa decreciente.
- Mientras más baja la tasa cupón, más sensible es su precio ante un cambio en tasas de interés, manteniendo los demás factores constantes.

#### **4.2.2. Estructura Temporal de las Tasas de Interés- ETTI**

La tasa de interés de mercado que se está asociando a un bono está dada por tres factores (López, 2005):

- El precio del dinero
- El costo de oportunidad
- El pago por el riesgo que se asume

Por este motivo, el rendimiento de un TES está considerando los niveles de inflación, en cuanto a que a mayor inflación, se demandará una mayor tasa por un mayor costo del dinero; también muestra el costo de oportunidad porque implica la tasa a la cual estaría dispuesto a tomar la inversión frente a otras existentes en el mercado; y por último ante la existencia de mayor riesgo sobre el emisor, se demandará una mayor tasa de interés.

En la teoría financiera se ha estudiado la relación existente entre las tasas de interés del mercado de los bonos, y el plazo al vencimiento de los mismos. La tasa a la que hoy se negocia un título con vencimiento a un año será distinta a un título con vencimiento a 10 años debido a que los agentes del mercado encuentran una relación diferente según el plazo de vencimiento y la tasa por la cual están dispuestos a negociar dichos títulos, formando así expectativas sobre el comportamiento de la economía, tasas de interés y patrones de inflación (Arosemena y

Arango, 2002). Por lo general, los agentes demandarán una mayor tasa para los títulos con vencimiento más lejano.

Esta relación es denominada Estructura Temporal de los Tipos de Interés (ETTI). La estructura a plazo de la tasa de interés es la relación entre los rendimientos de títulos de similar calidad crediticia, regularmente libres de riesgo, pero con diferente período de maduración.

### 4.2.3. La curva de Rendimientos.

A través de la curva de Rendimientos se grafican las diferentes tasas de los títulos y su plazo hasta el vencimiento. Tradicionalmente se construye con los títulos de menor riesgo crediticio, comúnmente son los bonos de deuda pública nacional que en el caso colombiano son los Títulos de Tesorería (TES). Generalmente la curva de rendimientos es utilizada como indicador del comportamiento de las tasas del mercado y sirve como referencia para las tasas de otros títulos del mercado de capitales de un país. En el gráfico 3 y tabla 1, se encuentra un ejemplo de esta curva para Colombia, mostrando el detalle de su variación diaria según cada uno de los vencimientos. Por ejemplo los TES que vencen en julio de 2020, la tasa de mercado bajó de 8,90% al 8,87%. En el eje X se muestra el tiempo al vencimiento y en el eje Y la tasa de interés.

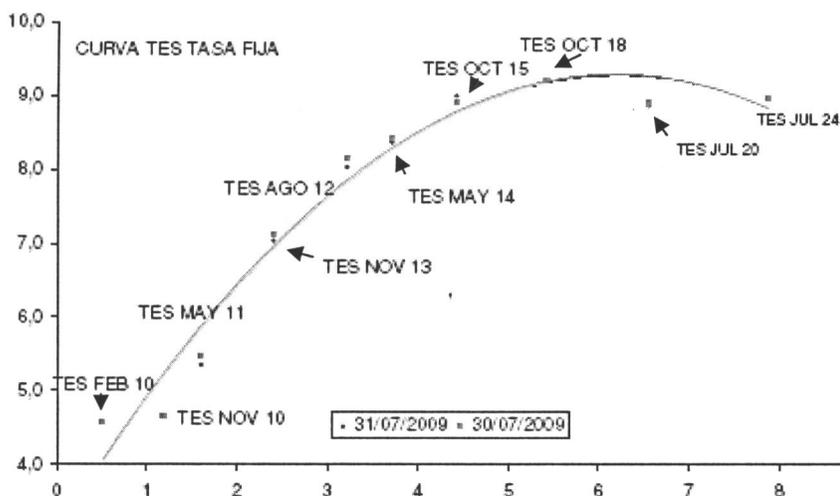


Gráfico 3  
Curva de rendimientos TES Tasa Fija  
Fuente BVC, SEN, 2009.

	30/07/2009	31/07/2009	Variación (pb)
TES FEB 10	4,58	4,58	0
TES NOV 10	4,66	4,65	-1
TES MAY 11	5,47	5,35	-12
TES AGO 12	7,11	7,04	-7
TES NOV 13	8,14	8,03	-11
TES MAY 14	8,42	8,37	-5
TES OCT 15	8,91	9,00	9
TES OCT 18	9,21	9,21	0
TES JUL 20	8,90	8,87	-3
TES JUL 24	8,98	8,98	0

Tabla 2  
Variaciones diarias tasas de los TES  
Fuente BVC, SEN, 2009.

Debido a que hacer una curva donde se compare solamente la TIR contra el período de vencimiento tiene desventajas<sup>3</sup>, se ha desarrollado el concepto de la tasa "cero cupón". Un bono con cupones puede verse como un conjunto de bonos con un pago al final de cada período. Con este concepto, se elimina la influencia de los cupones en la construcción de la curva de rendimientos<sup>4</sup>.

Haciendo una revisión bibliográfica, se encuentra que son muchas las metodologías que se han propuesto para la construcción de la curva cero cupón, la mayoría acompañadas de un robusto componente matemático y econométrico. Si bien algunos autores reconocen alrededor de 22 metodologías (Langetieg y Smoot, 1989), existen unos que han tenido el mayor reconocimiento y validez teórica aún cuando no exista un acuerdo sobre el método más apropiado.

Nelson y Siegel (1987), y Svenson (1994), presentan un enfoque basado en una función que usa tipos de interés implícitos<sup>5</sup>. A nivel mundial, esta metodología es la que mayor aceptación y utilización tiene en los mercados financieros, por esta razón la mayoría de investigaciones al respecto usan como metodología de referencia el modelo de Nelson y Siegel (1987).

<sup>3</sup> En particular, existen dos desventajas: La primera es que todos los flujos de caja se están descontando a una misma tasa siendo que los flujos ocurren en diferentes instantes del tiempo. La segunda, es que dos bonos pueden tener una TIR diferente si el valor del cupón es distinto.

<sup>4</sup> Para una explicación detallada de por qué la curva cero cupón logra eliminar la influencia de los cupones, ver *Melo y Vasquez* (2002).

<sup>5</sup> Por tipos de interés implícitos se entiende la tasa que el mercado prevé habrá en una fecha futura, a partir de las tasas existentes.

En Colombia, las curvas de rendimientos se empezaron a utilizar en la Bolsa de Bogotá en 1996 como indicadores de información de las rentabilidades de títulos negociados en el mercado. La metodología se ha ido perfeccionando, uno de los avances fue la publicación en 1999 de la curva de Rentabilidad Estimada de los Títulos de Tesorería TES a Tasa Fija (CETES). En el año 2001 se adelantaron investigaciones donde trabajaron conjuntamente el Banco de la República, la Superintendencia de Valores y Bancaria (hoy Superintendencia Financiera), Crédito Público y la Bolsa de Valores de Colombia. La metodología desarrollada se basa en el modelo de Nelson y Siegel (1987) y se encuentra vigente actualmente<sup>6</sup>.

#### **4.2.4. Tipos de movimientos de la Curva de Rendimientos**

La revisión empírica de la curva de rendimientos indica que existen básicamente dos tipos de movimientos en la Curva de Rendimientos; desplazamientos paralelos y desplazamientos no paralelos. Cada uno de ellos tiene algunas variaciones, y a su vez una explicación que motiva este movimiento.

##### **4.2.4.1. Movimientos paralelos**

Indica que la totalidad de los vencimientos está moviéndose en igual dirección y magnitud, ya sea una reducción de las tasas o un aumento de las mismas. Estos movimientos no indican un cambio de pendiente y tampoco un cambio en la expectativa de las tasas de corto plazo frente a las de largo, solamente un cambio en la percepción del emisor y el estado de la economía del país de referencia.

##### **4.2.4.2. Movimientos no paralelos**

Este movimiento indica que hay un cambio en la expectativa de movimiento de las tasas, bien sea porque hay un aumento en el corto o en el largo plazo, descrito como un aplanamiento o empinamiento de la curva. También puede darse el evento de una curva jorobada, con un aumento en las tasas en el tramo medio de la curva.

---

<sup>6</sup> Los principales documentos que resumen la metodología fueron elaborados en el Banco de la República por Arango, Melo y Vasquez, (2002). El modelo actual de Valoración que utiliza Infoval para el cálculo de rentabilidades en Deuda Pública es basado en la metodología de Nelson y Siegel.

Empinamiento de la curva. La teoría explica este evento por las siguientes razones (De Lara, 2007):

- Expectativa de que las tasas de corto plazo aumenten.
- Premio positivo a la liquidez
- Exceso de oferta respecto a la demanda en largos plazos.

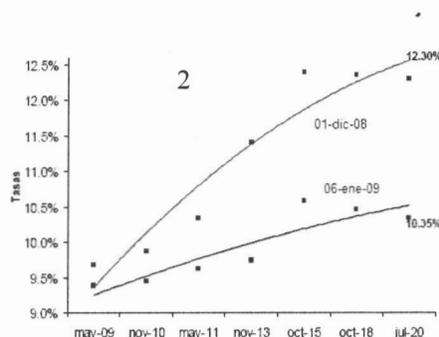
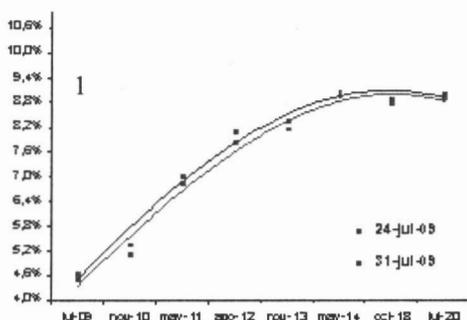
Aplanamiento de la curva: Se debe básicamente a:

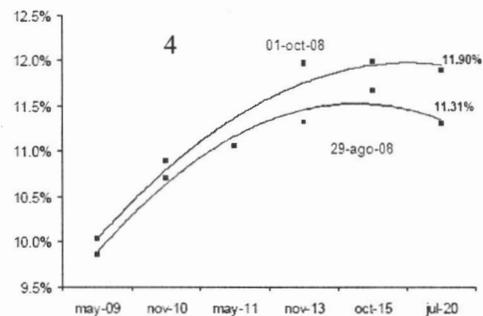
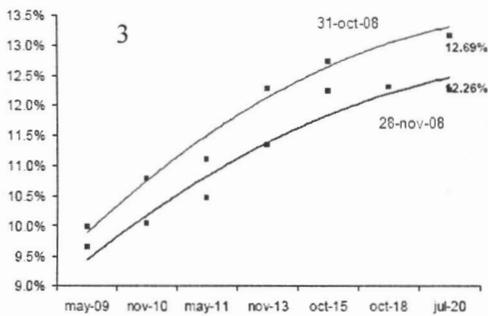
- Se espera que las tasas de corto plazo comiencen a igualarse a las de largo o viceversa.
- No hay premio por liquidez
- Existe equilibrio entre oferta y demanda en todos los plazos.

Aumento de la curvatura: Consiste en que el plazo medio tiene un aumento en las tasas, se debe principalmente a:

- Se espera que las tasas de corto plazo aumenten y después disminuyan.
- Premio positivo a la liquidez seguido de premio negativo a la liquidez
- Exceso de oferta respecto a la demanda en plazos intermedios.

Como ejemplos de movimientos de la curva de rendimientos en Colombia entre 2008 y 2009, podemos ver los siguientes casos. En el cuadrante 1 se observa un movimiento paralelo hacia arriba en julio de 2009; El cuadrante 2 muestra una disminución del empinamiento para el mes de enero de 2009; el cuadrante 3 un movimiento paralelo hacia abajo en noviembre de 2008 con una leve disminución del empinamiento, en el cuadrante 4 un aumento en las tasas con disminución de la curvatura debido a un mayor aumento en las tasas de los títulos de mayor vencimiento.





Gráfica 4

Ejemplos de movimiento en la curva de TES Tasa Fija  
Fuente BVC, SEN, 2008, 2009.

#### 4.2.4.3. Revisión de los movimientos de la Curva de Rendimientos en Colombia

Para el caso colombiano, existe una revisión sobre los movimientos de la curva de rendimientos, el principal trabajo fue revisado por Camaro (2005), en un estudio que describe los diferentes patrones que se encuentran presentes en la curva de rendimientos de TES tasa fija para el mercado de deuda pública colombiano, entre 2003 y 2004. El trabajo arroja una serie de conclusiones que aportan para la comprensión de los movimientos, destacando que en un 86% los movimientos se dan por desplazamientos paralelos, lo cual atribuyen a cinco factores:

- La muestra de datos
- Intervención del Banco de la República
- Expectativas de inflación
- Ausencia de estrategias de cobertura en el mercado colombiano
- Variaciones en la percepción de riesgo del emisor

Estos aspectos indican que la intervención macroeconómica del gobierno afecta significativamente el mercado, y es el que influye mayoritariamente por encima del movimiento mismo del mercado. El cuarto punto, sobre ausencia de estrategias de cobertura, comienza a ser mitigado por los futuros, con lo cual revisaremos este aspecto en el presente trabajo.

Un documento previo al anterior, hace una revisión de los movimientos no paralelos en mayor profundidad (Julio, Mera y Réveiz, 2002), donde muestra cómo movimientos no paralelos de la curva, dados por cambios

en la pendiente o en la curvatura afectan el rendimiento de portafolios en el mercado colombiano.

#### **4.2.5. Teorías que explican la Estructura Temporal de las Tasas de Interés**

En la teoría de portafolio, existen 4 estudios importantes que buscan explicar la forma de la curva de rendimientos, a partir de los cuales se toman las decisiones por parte de los administradores de portafolio. Estas teorías son:

*Teoría de las expectativas puras:* Sostiene que la ETTI va a estar determinada únicamente por las expectativas que tiene el mercado sobre los tipos de interés futuros. Cuando el mercado tiene la expectativa de aumento en la tasa de los bonos la curva tendrá pendiente positiva y viceversa Fisher (1930). Esta teoría asume que a un inversor le dará igual, por ejemplo, invertir en un bono cero cupón a tres años, que invertir en bonos anuales durante tres años.

*Teoría de la preferencia por la liquidez:* Afirma que los agentes prefieren los bonos de menor vencimiento por tener una mayor liquidez y sólo estarán dispuestos a invertir en bonos a largo plazo si por ellos reciben una mayor tasa. Esto significa que a mayor plazo, mayor tasa y por consiguiente la pendiente de la curva es positiva. Hicks (1939).

*Teoría del hábitat preferido:* Los agentes prefieren ubicarse en vencimientos que se ajusten al vencimiento de sus necesidades de liquidez, ya sea corto, mediano o largo plazo. Para que se ubiquen en otro vencimiento, esperan recibir una tasa de rendimientos que resulte más atractiva. En este caso no importa si están ubicados en el corto o largo plazo. Modigliani (1996).

*Teoría de la segmentación del mercado:* Sostiene al igual que la anterior que los agentes tienen lugares predilectos de la curva para hacer sus inversiones, sin embargo adiciona que los agentes se concentran en un segmento específico de la curva por razones de regulación, costos de información, entre otros. Cultberson (1957).

La curva de rendimientos que se construye en los mercados, se apropia entonces de la primera teoría, asumiendo así la equivalencia de las tasas de interés implícitas con las expectativas de rendimiento futuro en el mercado.

### **4.3. RIESGOS EN EL MERCADO DE RENTA FIJA**

En términos generales, en los mercados se encuentran unos tipos de riesgos que deben ser tenidos en cuenta para la toma de decisiones, ellos son<sup>7</sup>:

- **Riesgo de crédito:** Posibilidad de que la contraparte incumpla sus obligaciones contractuales, provocando pérdidas a la contraparte.
- **Riesgo Operacional:** Riesgo asociado a la realización de las transacciones (calidad de los sistemas informáticos de gestión y control, nivel de formación, complejidad de los productos, etc).
- **Riesgo Legal:** Proviene fundamentalmente de las carencias legislativas en relación a la continua innovación financiera, pero también de la falta de rigor al analizar las posibles limitaciones legales de actuación de las distintas contrapartidas.
- **Riesgo de Liquidez:** Imposibilidad de poder deshacer una posición con la suficiente rapidez y a un precio de mercado competitivo. En el mercado de Renta fija, se incluye la facilidad de reinvertir los rendimientos o las inversiones de los títulos.
- **Riesgo de Mercado:** Posibilidad para una posición o cartera de incurrir en pérdidas ante movimientos desfavorables de los precios en el mercado. En los mercados de renta fija, el riesgo de mercado se define como cambios en el precio de un bono o un portafolio ante cambios en la tasa de interés.

Para el presente trabajo, se va a trabajar sobre el riesgo de mercado, por cuanto es el que está dado por los movimientos en la tasa de interés y sobre el cual los participantes del mercado realizan monitoreo continuo debido a su constante movimiento y evolución según los factores que lo afectan, vistos en el apartado 4.2.1.

#### **4.3.1. La relación riesgo-Rendimiento**

Existen dos variables básicas que son fundamentales para el entendimiento y toma de decisiones de inversión: el rendimiento y el

---

<sup>7</sup> Definiciones tomadas de Instituto BME, (2007)

riesgo, las cuales a su vez están interrelacionadas en cuanto a que a mayor riesgo en una inversión, se exigirá mayor rendimiento.

El rendimiento, en un activo o portafolio es definido como el cambio de valor que registra en un período con respecto a su valor inicial.

Por su parte, el riesgo está determinado fundamentalmente por el grado de variabilidad de los rendimientos, con base en lo cual en finanzas se busca determinar las pérdidas potenciales que se pueden sufrir en los portafolios de inversión (Jorion, 2007). Debido a la importancia y necesidad de generar una medición del riesgo, se ha trabajado sobre este aspecto en la teoría financiera, tomando como base los fundamentos estadísticos. De esta manera, la medición del riesgo se asocia con la probabilidad de una pérdida en el futuro.

Para la medición de este grado de variabilidad, podemos partir de una distribución de frecuencias de los rendimientos de algún activo. En un principio, se ha considerado que la distribución de probabilidad de los rendimientos financieros presenta la forma de una normal. Los parámetros más importantes que se definen son la media (rendimiento promedio) y la desviación estándar (volatilidad).

Tomando un ejemplo de la distribución de los rendimientos, se presenta un ejemplo a partir de las tasas de rendimientos para bonos TES tasa fija en pesos con vencimiento de un año, haciendo un histograma de las variaciones de rendimientos durante un año, entre el 02 de marzo de 2008 y el 02 de marzo de 2009, se obtiene el siguiente resultado, con media  $-0,0011$  y desviación estándar diaria de los rendimientos  $0,0105$ .

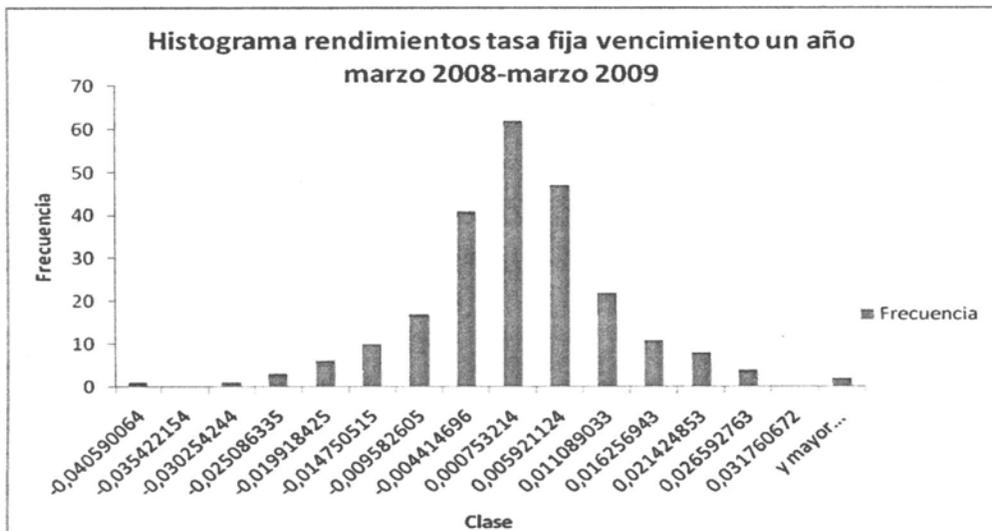


Gráfico 5  
Histograma de rendimientos  
Tasa fija vencimiento un año

Adicional a las medidas de media y desviación estándar, la distribución normal presenta dos características, asimetría y kurtosis.

La asimetría es un indicador que busca medir el sesgo de la curva. En el caso de una curva normal perfecta, el sesgo será cero. La fórmula para calcular la asimetría es:

$$Asimetría = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^3}{(n-1)\sigma^{3/2}} \quad (2)$$

Donde:

$x_i$  Es el valor de la observación  $i$

$\mu$  Es la media de la distribución correspondiente

$\sigma$  Es la desviación estándar de la distribución correspondiente

$n$  Es el número de observaciones.

Para la distribución de rendimientos del histograma, se obtuvo una asimetría de 0,0144 que indica un sesgo de la distribución ligeramente a la derecha.

La kurtosis es el indicador que mide el nivel de levantamiento de la curva respecto a la línea horizontal. La kurtosis de una distribución normal perfecta es igual a 3. La fórmula para calcular la kurtosis es:

$$Kurtosis = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^4}{(n-1)\sigma^4} \quad (3)$$

Para la distribución de rendimientos del histograma, se obtuvo una kurtosis de 1,701, lo que indica una curva más levantada que la normal.

Con el fin de conocer si una distribución de frecuencias se comporta de acuerdo a una normal, se puede utilizar la prueba Jarque-Bera (1987). El estadístico de prueba está dado por:

$$LM = N \left[ \frac{sesgo^2}{6} + \frac{(kurtosis - 3)^2}{24} \right] \quad (4)$$

Donde  $LM$  es el estadístico de prueba y se distribuye como una chi-cuadrada con dos grados de libertad, por tal motivo se debe realizar una prueba de hipótesis donde la hipótesis nula consiste en que la curva es normal para un nivel de confianza definido y la hipótesis alternativa consiste en que no pasa dicha prueba.

Para el caso en revisión, realizando el cálculo el estadístico de prueba que se obtiene es 16,53. Para un nivel de confianza del 95%, el valor obtenido es 5,99. Dado que el estadístico de prueba es mayor, entonces se rechaza la hipótesis nula, con lo cual se puede afirmar que la serie no se comporta de acuerdo a una normal.

Cuando se desea agregar el riesgo de un portafolio, es necesario incluir la relación que existe entre los activos, de esta manera se ha incluido en la medición de riesgo de portafolios las covarianzas y las correlaciones, conceptos con los cuales se determina la relación existente entre el movimiento de los precios de dos activos.

La medición de riesgo será entonces una actividad principal en el seguimiento de las inversiones que deben ser valoradas a precios de mercado diariamente y así conocer si hay peligro de verse afectados los portafolios ante movimientos en sus precios.

### 4.3.2. Medición de riesgo de mercado en títulos de renta fija

En el riesgo de mercado se involucran dos conceptos que son fundamentales y siempre son calculados cuando se está revisando la sensibilidad en el precio de un bono o cartera ante cambios en la tasa de interés:

- **Duración:** El concepto de duración permite establecer el grado de sensibilidad que tiene el precio del bono frente a las variaciones de la tasa de interés de mercado.

Un primer indicador fue la duración de Macaulay, que indica el plazo promedio en años para el vencimiento de los flujos de cada del bono, siendo calculado de la siguiente forma:

$$D = \frac{1}{P} \times \sum_{t=1}^n \frac{t \cdot Q_t}{(1+r)^t} \quad (5)$$

En donde:

$D$  es la duración

$n$  es el tiempo restante para el vencimiento del bono

$Q_t$  es el flujo de caja del año  $t$

$P$  el precio de mercado del bono a la fecha de cálculo

$t$  es el tiempo al vencimiento de cada flujo de caja del bono

$r$  Es la tasa de interés de mercado del bono a la fecha de cálculo

Como ejemplo, podemos calcular la duración del Bono visto en el apartado 4.2.1, con lo cual puede ser ilustrado así:

$$D = \frac{1}{120,799} \times \left( \frac{194}{365} * 13,5 \frac{194}{(1,0993)^{\frac{194}{365}}} + \frac{559}{365} * 13,5 \frac{559}{(1,0993)^{\frac{559}{365}}} + \frac{924}{365} * 13,5 \frac{924}{(1,0993)^{\frac{924}{365}}} + \frac{1290}{365} * 13,5 \frac{1290}{(1,0993)^{\frac{1290}{365}}} + \frac{1655}{365} * 13,5 \frac{1655}{(1,0993)^{\frac{1655}{365}}} + \frac{2020}{365} * 113,5 \frac{2020}{(1,0993)^{\frac{2020}{365}}} \right)$$

Lo cual da un resultado de 5,34. El resultado anterior quiere decir que en 5,34 años el inversionista recupera la inversión inicial. Otra interpretación es que el plazo promedio ponderado por vencer del bono es 5,34 años.

Mientras mayor sea el valor de la duración, existe una percepción más alta de riesgo, en cuanto a que se indica un tiempo de recuperación de la inversión mayor.

Existe otro concepto adicional, que se denomina la Duración Modificada y se interpreta como el cambio en el precio del bono cuando el tipo de interés sufre una variación. Se calcula así:

$$D^* = \frac{D}{1+r} \quad (6)$$

Donde  $D^*$  es la duración modificada

$D$  es la duración

$r$  es la tasa de interés de mercado del bono a la fecha de cálculo

Retomando el ejemplo del Bono anterior, tendríamos la duración modificada así:

$$D^* = \frac{5,34}{1+0,0993}$$

Dando como resultado 4,86, lo cual se interpreta que si la tasa del bono sube en 1%, dicho bono sufrirá una pérdida de 4,86%.

La duración de un portafolio de bonos es la media de las duraciones de bonos que la forman ponderadas por el valor de cada bono en la cartera Bodie (2003), Fabozzi (2000).

La duración ha logrado una gran aproximación al riesgo inherente a una posición en títulos de renta fija. Sin embargo, el concepto de duración no logra capturar con toda exactitud el efecto que tienen las alteraciones de las tasas de interés sobre el precio de los títulos, debido a que la duración asume que el impacto de las variaciones de las tasas sobre los precios es constante, independientemente del nivel en el que se produzcan los cambios en las tasas de interés, Corredores Asociados (2005).

- **Convexidad:** La convexidad mide, en términos absolutos, la pérdida de sensibilidad que experimenta el precio del título frente a alteraciones de las tasas de interés, considerando que esta relación no es lineal, como se indica en los principios de fijación

del precio en los bonos. Matemáticamente se determina con la segunda derivada del precio ( $P$ ), respecto a la tasa de interés ( $r$ ):

$$C = \frac{1}{P} \frac{d^2 P}{dr^2} \quad (7)$$

Siendo entonces:

$$C = \frac{1}{P} \frac{1}{(1+r)^2} \sum_{t=1}^n \frac{t(t+1)Q_t}{(1+r)^t} \quad (8)$$

Retomando el ejemplo del bono, tendríamos para este caso que la convexidad daría un valor de 5,58<sup>8</sup>, lo cual indica que por cada 100 puntos básicos que cambie la tasa hay una modificación en el valor presente del 5,58%.

La convexidad de un portafolio de bonos es la media de las convexidades de los bonos que la forman, ponderadas por el valor de cada bono en el portafolio.

Los conceptos de duración y convexidad siempre deben ser tenidos en cuenta cuando analizamos el balanceo de portafolios con títulos a lo largo de la curva de rendimientos. Un cambio en la duración de un título implica que el inversionista deberá reorganizar su portafolio para mantener una duración objetivo según sus políticas y horizontes de inversión.

### 4.3.3. Valor en Riesgo en renta fija

Vamos en este apartado a incluir los modelos para medición de riesgo basados en el "Value at Risk" -VaR. El VaR es una herramienta para medir el riesgo de mercado de un activo o una cartera de activos financieros, resume la pérdida máxima esperada "o peor pérdida" a lo largo de un horizonte de tiempo objetivo dentro de un intervalo de confianza dado. (Jorion 2007).

Una de las ventajas del VaR es que resume en un solo número la medición de riesgo, y hace fácil de entender la exposición total de una institución al riesgo de mercado. Es por esta razón que ha tenido amplia aceptación y difusión en el medio financiero, tanto para inversionistas,

<sup>8</sup> Se dejan los cálculos al lector.

ejecutivos de las empresas y estructuradores e intermediarios de valores.

Para la cuantificación numérica de esta medida se pueden seguir dos caminos, los cuales tratan de generar, una predicción del riesgo que espera enfrentar cierta inversión, sobre la base de datos históricos y actuales (De Lara, 2007):

- Métodos paramétricos
- Métodos no paramétricos

#### 4.3.3.1. Métodos paramétricos

Intenta ajustar los retornos históricos de dicha inversión a una distribución conocida, por ejemplo Normal, por lo tanto, se deben estimar sus parámetros. Con dichos parámetros se pueden realizar las predicciones del VaR siguiendo la distribución escogida.

Si ya tuviéramos toda la información, y simplemente restara calcular el VaR para un bono, el Valor en Riesgo de un bono, asumiendo normalidad en el comportamiento de los rendimientos sería:

$$VaR_{bono} = -FBD^m r \sigma \sqrt{t} \quad (9)$$

Donde:

$F$  es el factor relacionado con el nivel de confianza

$B$  el precio del bono a valor presente

$D^m$  la duración modificada

$r$  la última tasa de interés conocida

$\sigma$  la volatilidad de rendimientos de tasas de interés

$t$  el horizonte de tiempo.

Para un portafolio de activos, esta metodología se basa en las varianzas y covarianzas, también denominado método delta-normal (Jorion, 2007). En este método se debe calcular la varianza del portafolio considerando sus correlaciones.

La varianza se calculará de la siguiente manera:

$$\sigma_p^2 = w_1^2 \sigma_1^2 + w_2^2 \sigma_2^2 + 2w_1 w_2 \rho_{12} \sigma_1 \sigma_2 \quad (10)$$

Donde  $\rho_{12}$  es el coeficiente de correlación entre los dos activos.

El VaR del portafolio estará dado por:

$$VaR_p = [VaR_1^2 + VaR_2^2 + 2\rho_{12}VaR_1VaR_2]^{1/2} \quad (11)$$

De manera genérica para el caso de más de dos activos en el portafolio, se llega a:

$$VaR_p = [VaR \times C \times VaR^T]^{1/2} \quad (12)$$

Donde

$VaR$  es un vector de VaR individuales de dimensiones  $(1 \times n)$

$C$  es la matriz de correlaciones de dimensiones  $(n \times n)$

$VaR$  es el vector transpuesto de VaR individuales de dimensiones  $(n \times 1)$

Si las correlaciones de los activos son menores que uno, entonces el VaR del portafolio será menor que la suma de los VaR individuales. El VaR del portafolio nunca será superior a la suma aritmética de los VaR individuales.

En el método paramétrico también puede utilizarse simulación de Montecarlo, por medio de la cual se generan números aleatorios para calcular el valor de los portafolios a través de escenarios con igual probabilidad de ocurrencia. Este método está orientado especialmente a valorar derivados no lineales como las opciones<sup>9</sup>.

#### 4.3.3.2. Métodos no paramétricos

Este enfoque no emplea ningún supuesto sobre la distribución de los rendimientos, ni supone ningún tipo de comportamiento de los parámetros. Se pueden subdividir en<sup>10</sup>:

- *Simulación histórica*: consiste en un enfoque que utiliza los datos históricos para generar una serie de tiempo, sin asumir ningún tipo de distribución para los retornos, se maneja el supuesto de

---

<sup>9</sup> Por su enfoque hacia derivados no lineales, este método no se profundiza en el presente trabajo. Para mayor detalle se puede revisar Hull (2003) y Jorion (2007).

<sup>10</sup> No se detalla en estos modelos puesto que no serán utilizados en la metodología a aplicar. Para mayor detalle revisar Jorion (2007).

que el portafolio se conserva durante toda la serie histórica y se construye un histograma con los rendimientos, a partir del cual se calcula un percentil que será el nivel de confianza a aplicar en el VaR calculado.

- *Simulación de MonteCarlo:* Para aplicar este método, se necesita conocer cierto proceso estocástico o una transformación lineal o no lineal de éste para simular eventos, por lo que es necesario obtener parámetros para dicho proceso, generalmente estimados con los datos históricos. Luego de simulados los eventos, estos no necesariamente se ajustan a una distribución conocida para obtener información sobre el VaR, procediendo en esta etapa de manera similar a los métodos de simulación histórica.

El modelo de varianza covarianza (método paramétrico) es referenciado dentro de la metodología de RiskMetrics, (JP Morgan, 2007), y en sus manuales de administración de riesgo (JP Morgan, 1999); allí se utiliza la herramienta de mapeo como instrumento base para la medición de riesgo en portafolios de Renta Fija. Se puede considerar, que la metodología de RiskMetrics es un método paramétrico.

El modelo de Risk Metrics (JP Morgan, 2007) consiste en lo que se denomina mapeo o descomposición de posiciones<sup>11</sup>, por medio de este proceso se puede expresar o descomponer un instrumento en una combinación de al menos dos instrumentos más simples que el original.

El tratamiento de las posiciones en Renta Fija mediante el modelo de Risk Metrics consiste en descomponer los instrumentos de renta fija en sus correspondientes flujos de caja para poder repartirlos entre un número determinado de vértices, los cuales se corresponden con una serie de vencimientos de la estructura temporal de los tipos de interés. De esta forma, se consigue reducir a un número concreto la multitud de posibles vencimientos que pueden existir en carteras con un número elevado de títulos, facilitando su tratamiento analítico al quedar reducida la dimensión de la matriz de varianzas-covarianzas de los rendimientos de la cartera al número de vértices utilizados<sup>12</sup>.

---

<sup>11</sup> Otros autores han traducido este concepto como sistema de "mapping o cartografía". Abad y Benito (2006).

<sup>12</sup> El detalle de la aplicación de esta metodología para el caso colombiano se explica en el apartado siguiente.

En el cálculo del VaR se han encontrado algunas deficiencias por ser dependiente de algunos supuestos en especial para aquellos que suponen la normalidad en los rendimientos, y el hecho de que no logra explicar los eventos de alta kurtosis (fat tails), con lo cual presenta dificultades para predecir la probabilidad de eventos extremos, por esta razón se recomienda adicionar al VaR otros procesos como pruebas de Stress y retroalimentación con datos reales (De Lara, 2007).

#### **4.3.4. Medición de riesgo en el caso Colombiano**

En Colombia se han elaborado múltiples aplicaciones de las metodologías expuestas para medición de riesgo. Tenemos en primer lugar la Metodología diseñada por la Superintendencia Financiera de Colombia (2007), en donde se definen las reglas relativas a la medición de riesgos de mercado que para este caso será el riesgo de tasa de interés.

La metodología está determinada en el anexo 2 de la Circular 051 de 2007, para títulos tasa fija en pesos, a continuación se hace una breve descripción de esta metodología:

Para el cálculo de la sensibilidad al riesgo de tasa de interés como primer paso se deben mapear las posiciones tanto largas como cortas del portafolio, luego calcular el valor de la exposición neta y finalmente realizar el cálculo de la sensibilidad al riesgo.

El mapeo se realiza con base en los días al vencimiento de cada título, asignando un nodo según el rango en que se encuentre el título<sup>13</sup>. Posterior a la asignación de nodo para cada flujo del título o valor, se debe calcular el valor presente del mismo, utilizado como tasa de descuento, la tasa cero cupón del flujo y el margen correspondiente. Para estos efectos debe utilizarse la metodología para cálculo de la tasa cero cupón descrita en los documentos técnicos de la Bolsa de Valores de Colombia.

Calculado el valor presente del flujo del título o valor, éste debe multiplicarse por la duración modificada del flujo calculada como el

---

<sup>13</sup> Por nodo los grupos de días al vencimiento que se crean para agrupar los vencimientos de los cupones. Por ejemplo se crean nodos para los cupones con vencimientos entre 0 y 180 días, 180 y 360 días, y así sucesivamente. En el detalle de la metodología aplicada, tabla 16 se encuentran los nodos exigidos por la Superfinanciera.

tiempo anual al vencimiento descontado por la correspondiente tasa cero cupón del vencimiento del flujo. Por último, se deben sumar los flujos correspondientes a cada nodo asignado, con el fin de hallar la exposición total de cada nodo.

$$E_{ki} = \sum_{n=1}^N VPF_n * DM_n \quad ( 13 )$$

Donde<sup>14</sup>:

$E_{ki}$  Exposición del título o valor k en el nodo i,  $i = 1, \dots, 9$

$VPF_n$  Valor presente del flujo n

$DM_n$  Duración modificada del flujo n

Posteriormente, con el fin de calcular la sensibilidad al riesgo por cada factor de riesgo relacionado se debe hacer la suma aritmética de las exposiciones netas de cada nodo ponderadas por la matriz de choques que suministra la Superintendencia Financiera de Colombia, definiendo el VaR así:

$$VeR_{icr} = \sum_{n=1}^9 Choque_{in} * Exposición_n \quad ( 14 )$$

Donde:

$VeR_{icr}$ : Valor en riesgo para el componente i de la curva de referencia específica, con  $i = 1, 2, 3$ .

$Choque_{in}$ : Choque del componente i para el nodo n, con  $n = 1, \dots, 9$

$Exposición_n$ : sumatoria total (exposición neta) de los flujos ubicados en el nodo n

La medición de riesgo se hace sectorizando los títulos en 3 grupos, denominados Componentes Principales, que luego deben ser agregados para determinar la medición total del riesgo.

La inclusión de Futuros en la medición de riesgo consiste en incluir una posición corta o larga según sea el caso en el portafolio y se sigue la misma metodología.

---

<sup>14</sup> Fórmula tomada del Anexo 2 del capítulo 21 de la Circular Contable y Financiera. Superintendencia Financiera de Colombia, 2007.

## *Otras aplicaciones en Colombia*

Igualmente se han hecho revisiones y comparaciones entre las metodologías existentes, Grupo de Investigación en análisis de riesgo financiero - Girafa (2004), presentó un estudio conjunto de las distintas metodologías, estimando el VaR para un portafolio de TES mediante Simulación de MonteCarlo y aproximación Delta-Gamma, en donde demostraron que generando distintos grupos de portafolios, se presentaba un VaR consistente que no variaba considerablemente con la cantidad de escenarios considerados.

Más recientemente, Durán y Gómez (2008), presentaron algunas debilidades y fortalezas de las mediciones de riesgo en Colombia. La medición se separa en dos categorías, la que asume que existe información sobre la volatilidad futura de las tasas de mercado en cierto horizonte de tiempo, tomando así el modelo de Basilea, métodos paramétricos y el método de la Superfinanciera; y en segundo lugar, aquellos que asumen que la información sobre la trayectoria futura no es conocida, asumiendo simulación. Los autores muestran que el modelo de Basilea es muy riguroso para inversiones en países emergentes, los métodos paramétricos no se ajustan a la condición del mercado colombiano y el modelo de la Superfinanciera es bastante conservador, por lo que se inclinan hacia los modelos de simulación.

A pesar de lo anterior, y de las reservas que existen sobre el método de la Superfinanciera, este es de obligatorio cumplimiento y por su ortodoxia es bastante exigente para cubrir riesgos de las entidades financieras.

La Circular Externa 051 también otorga potestad a las entidades para que desarrollen sus propios modelos de riesgo internos, sin embargo éstos no son mostrados en la presente revisión dado que son métodos internos e independientes en cada una de las entidades.

## **4.4. DERIVADOS SOBRE TÍTULOS DE RENTA FIJA**

### **4.4.1. Generalidades del mercado de Derivados y futuros financieros**

Un instrumento financiero derivado es cualquier instrumento financiero cuyo valor es una función que se deriva de otro activo, el cual se determina activo subyacente.

En esta revisión se hará énfasis en los Futuros, los cuales son instrumentos derivados por los que se realizan operaciones de compraventa de un determinado activo fijando en el momento de la contratación el precio al que se liquidará la operación (Instituto BME 2007). Los mercados de futuros se negocian dentro de bolsas organizadas.

Dentro de un mercado de futuros aparecen 3 tipos de participantes, los hedgers, especuladores y arbitrajistas (Hull, 2003):

- **Gestión de coberturas del riesgo o hedgers:** Buscan reducir o eliminar el riesgo que se deriva de la fluctuación del precio del activo subyacente.
- **Especuladores:** Es el agente que trata de obtener beneficios por las diferencias previstas frente a la cotización del activo. Surge cuando el agente prevé un movimiento del activo y trata de adelantarse a él.
- **Arbitrajistas:** Son los agentes que buscan el aprovechamiento de las diferencias puntuales entre el contado y el futuro para tratar de obtener beneficios. Se da por las imperfecciones o ineficiencias de los mercados.

### **4.4.2. Futuro sobre Bono Nacional<sup>15</sup>**

El mercado estandarizado –realizado a través de una Cámara de Riesgo de Contraparte Central CRCC- a diferencia del mercado OTC de derivados, favorece el aumento de la liquidez y la formación de

---

<sup>15</sup> La documentación de este apartado ha sido tomada conjuntamente de Instituto BME (2007), BVC (2006), y Valderrama y Lopez (2008).

precios, permitiendo a los participantes mantener sus posiciones o realizar neteo de las mismas en cualquier momento durante el periodo comprendido entre la realización de la operación y el final de la misma. El mercado organizado facilita tomar posiciones sin tener que comprar o vender el subyacente. Cualquier ganancia o pérdida se contabiliza diariamente.

Para lograr la estandarización se requiere del previo diseño del contrato. Para cada contrato se define el instrumento subyacente y los términos del contrato. Dentro de éstos, está el valor nominal, el método de liquidación y el plazo, de forma tal que solamente el precio del futuro es la variable negociable.

**Definición del Futuro sobre un Bono Nocional:** La Bolsa de Valores de Colombia escogió este concepto para ser desarrollado dentro del mercado de derivados del país. Se define como una transacción forward estándar realizada entre dos partes, sobre un bono de tasa fija. Este bono, denominado bono nocional es uno teóricamente emitido a precio par el día del vencimiento del contrato de futuro, con características de emisión previamente establecidas.

#### **4.4.2.1. Principales conceptos relacionados con el futuro sobre Bono Nocional**

**Entregable:** El día de vencimiento del futuro, dada la condición teórica del subyacente, el entregable se selecciona de una canasta de bonos definidos como elegibles que cuentan con ciertas características de maduración definidas de acuerdo con un rango preestablecido. Dependiendo de la curva de rendimientos, el precio de algunos de estos bonos elegibles tendrá un mayor impacto en el precio del futuro.

**Factor de Conversión:** La canasta de bonos considerados como entregables tendrá instrumentos con diferentes cupones, precios y fechas de vencimiento. El *factor de conversión* - FC- establece una conexión que hace que los precios de los bonos entregables y del bono nocional resulten financieramente equivalentes.

El factor de conversión -FC- de un bono entregable representa el precio, en términos porcentuales, al cual debería transarse este bono para que rente el cupón par - CP - del bono nocional. De esta forma, el FC es diferente para cada instrumento en la canasta de entregables pero se mantiene constante durante toda la vida del futuro.

$$FC = VP \text{ (flujos futuros del bono entregable descontado con la tasa CP)} / 100$$

**( 15 )**

De esta forma, bonos entregables con cupones inferiores al CP tendrán FC inferior a uno indicando que estos bonos tendrían un precio al descuento, de la misma manera, bonos con cupones superiores al CP tendrán FC superior a uno señalando un precio a la prima. Para cada entregable, el precio ajustado del futuro se estima como el producto entre el precio del futuro y el correspondiente FC.

**Bono mas barato de entregar (MBE):** Los participantes del mercado que tomen la posición de venta en una operación de futuros se consideran con la posición corta de la operación. Estos, cuando mantienen su posición abierta hasta el día de vencimiento del futuro, tienen la opción de determinar que bono entregar.

Los participantes del mercado que tomen la posición de compra en una operación de futuros se consideran con la posición larga de la operación. Estos, cuando mantienen su posición abierta hasta el día de vencimiento del futuro, tienen la obligación de recibir los entregables seleccionados por el vendedor.

A partir de lo anterior, se espera que aquellos con posiciones vendedoras de futuros, realicen entrega del bono que resulte más económico. Es decir, aquel bono que maximiza su retorno si es comprado y mantenido hasta el día de entrega. En este sentido, dado que se comprará el instrumento en el mercado de contado, se buscará aquel que maximice la diferencia entre lo que se paga en la compra y la cantidad que recibirá por la venta del futuro.

La definición del factor de conversión establece la conexión entre el entregable y el precio del futuro, y permite establecer una serie de pautas para determinar el bono más barato de entregar, en función de la estructura de la curva de tasas de interés.

Puesto que el factor de conversión de un entregable es el precio que renta el CP, dividido por 100, se genera una tendencia hacia entregar bonos con más larga duración si los rendimientos se encuentran por encima del CP, y de duraciones inferiores cuando los rendimientos se encuentran por debajo del CP.

Lo anterior obedece a la mayor o menor sensibilidad del precio de los bonos a los movimientos de las tasas de interés, de acuerdo con su duración. Si hay un aumento en las tasas los títulos con más larga duración pierden más precio, produciendo además un menor valor para la relación precio/FC, dada la condición constante del FC. Similarmente, si las tasas caen los precios de los bonos con mayor duración suben más rápido afectando las posiciones cortas, por lo que se generan condiciones de preferencia para los bonos con corta duración.

De igual forma, los bonos entregables están afectados por las diferencias entre sus precios de mercado. Los bonos relativamente más costosos resultan ser bonos más costosos de entregar. En la misma forma, en la medida en que el mercado demande masivamente el bono más barato de entregar, puede encarecerlo y afectar su condición de entregable.

**Tasa Repo implícita:** El instrumento entregable debe incorporar el costo relativo de entrega del instrumento, el cual es indicado por la tasa repo implícita.

Mediante esta tasa, una vez identificado cada bono entregable y calculados sus factores de conversión, se puede identificar, en cualquier momento antes del vencimiento del futuro, el más barato de entregar. Para cada bono, la tasa repo implícita se estima como el interés resultante de la compra del bono a precios de mercado financiado a través de una operación repo y de su venta a través del futuro. Por lo anterior, el bono con la mayor tasa repo implícita es el más barato de entregar.

**Basis:** el "basis" es definido como la diferencia entre el precio del bono y el precio ajustado del futuro.

$$\text{Basis} = \text{Precio del bono} - (\text{precio del futuro} * \text{FC}) \quad ( 16 )$$

Una posición larga en el "basis" implica comprar el bono y vender futuros. Estar corto en el "basis" significa vender el bono y comprar futuros. El "basis" sobre el bono más barato de entregar debe converger a cero al final del futuro.

**Carry:** se refiere a la cantidad de dinero ganado o perdido en la operación de neteo entre el interés obtenido de un bono adquirido y el costo incurrido para financiarlo.

Con una curva de pendiente positiva, se espera un carry positivo cuando se toma una posición larga en un bono mientras que causa un carry negativo para una posición corta (BME, 2007).

$$Carry = \left( \frac{tasacupón}{365} \right) - \left( \frac{tasarepo * precio}{365 * 100} \right) \quad (17)$$

#### **4.4.2.2. Características del contrato de futuro sobre Bono Nocional en Colombia**

Desde el 1 de septiembre de 2008, se inició en Colombia el mercado de derivados, luego de la constitución de la Cámara de Riesgo Central de Contraparte, los ajustes normativos y el alistamiento del mercado para que iniciara operaciones con este nuevo tipo de productos.

En el mercado de derivados se negocian actualmente futuros sobre Bono Nocional, cada contrato se construye sobre un subyacente que consiste en un conjunto de bonos TES clase B tasa fija en pesos. En principio, la negociación comenzó solamente con el contrato de futuro sobre Bono Nocional de mediano Plazo (TEM), sin embargo desde 2009 están disponibles los contratos sobre Bono Nocional a Corto (TES) y Largo Plazo (TEL).

A continuación se describen las especificaciones del contrato (Bolsa de Valores de Colombia, 2008):

- Tamaño del contrato: Cada Contrato tiene un valor nominal de COP 250.000.000
- Contratos listados: vencimientos trimestrales en el ciclo de marzo (marzo, junio, septiembre y diciembre). Están listados los dos (2) contratos con vencimiento más cercano.
- Tick de precio: Los Contratos tendrán un tick de precio y de cotización de 0,005 unidades de precio. Esta fluctuación es equivalente a COP 12.500
- Método de liquidación: La liquidación de las Operaciones será por entrega física del activo subyacente el día de vencimiento del Contrato
- Vencimiento: Viernes de la primera semana del mes de vencimiento

- Último día de negociación: Miércoles de la primera semana del mes de vencimiento

Este instrumento está respaldado por una canasta de títulos TES clase B a tasa fija en pesos, con los cuales se relaciona a través de un "factor de conversión". Los títulos que conforman la canasta, así como el factor de conversión que los relaciona son informados al Mercado previamente a la inscripción de cada Contrato mediante Boletín Informativo.

Al vencimiento, los tenedores de los contratos que hubieren resultado con posición de venta podrán decidir e informar a la Cámara el(los) título(s) de la canasta con el(los) que cumplirán su obligación para que ésta entregue a los tenedores de los contratos que hubieren resultado con posición de compra. Esta entrega debe sujetarse a las condiciones o procedimientos que defina la Cámara en su reglamentación<sup>16</sup>.

En la actualidad, la canasta de entregables de cada contrato con vencimiento más próximo, con sus respectivos factores de conversión, es la siguiente:

<b>TESH09F</b>	
<b>TITULOS</b>	<b>FACTOR DE CONVERSION</b>
TFIT04180511	1,0168
TFIT04150812	0,9777

Tabla 2. Canasta de entregables y factor de conversión Contrato a corto plazo con vencimiento en junio de 2009. Fuente BVC.

---

<sup>16</sup> La normatividad vigente para la negociación y valoración de Futuros está dispuesta en el Reglamento y Circular de Derivados de la BVC, el Reglamento debe ser aprobado por la Superintendencia Financiera de Colombia y la Circular es mucho más detallada y es aprobada por el Comité de Regulación de la Bolsa de Valores de Colombia.

<b>TEMH09F</b>	
<b>TITULOS</b>	<b>FACTOR DE CONVERSION</b>
TFIT06141113	0,9731
TFIT10120914	1,0946
TFIT06140514	0,9354
TFIT10281015	0,8659

Tabla 3. Canasta de entregables y factor de conversión Contrato a mediano plazo con vencimiento en junio de 2009. Fuente BVC.

<b>TELH09F</b>	
<b>TITULOS</b>	<b>FACTOR DE CONVERSION</b>
TFIT11241018	1,2077
TFIT15240720	1,2149

Tabla 4. Canasta de entregables y factor de conversión Contrato a largo plazo con vencimiento en junio de 2009. Fuente BVC.

La evolución reciente del mercado de Futuros no ha tenido un comportamiento significativamente alto, sino que su crecimiento ha sido lento y en el primer año experimenta unos bajos volúmenes de negociación mostrando una muy baja liquidez<sup>17</sup>. Este tipo de trabajo busca también llegar a encontrar alguna de las posibles causas de esta situación.

---

<sup>17</sup> Si bien las proyecciones eran de más de 500 contratos diarios, estos no han superado 60 contratos como promedio diario negociado. Ver Cifras de Mercado BVC, (2009).

## 4.5. ESTRATEGIAS DE COBERTURA CON FUTUROS

El objetivo de utilizar futuros sobre títulos de renta fija, es que los agentes puedan aprovecharlos como mecanismo de cobertura de riesgo ante movimientos de las tasas de interés a lo largo de la curva de rendimientos. De esta manera se logra integrar todos los conceptos vistos desde la ETTI, la medición de riesgo y los derivados sobre deuda pública.

A continuación se va a hacer una descripción general acerca de las estrategias que debe tomarse con futuros ante una expectativa de movimiento en la curva de rendimientos.

La cobertura con futuros es una actividad que pretende reducir la exposición al riesgo de una posición ya tomada en otro mercado. La cobertura se tomará en una posición del signo contrario al activo que se posee. Será susceptible de cobertura que guarde correlación con los futuros usados para su cobertura.

Hay que anotar que la cobertura exacta no existe puesto que el futuro no siempre será sobre el mismo título o sobre la misma cantidad de activos que se poseen. Es imposible comprar fracciones de contratos.

En las recomendaciones de cobertura de riesgos, generalmente se incluyen cuatro preguntas obligatorias que es necesario responder para determinar cuál va a ser la estrategia a seguir (López, 2005):

- Cuál es mi riesgo
- Compro o vendo
- Qué contrato
- Cuántos contratos

Respecto a la primera pregunta, y centrándonos en que vamos a estudiar el riesgo de mercado en un portafolio de bonos, el riesgo de los agentes está asociado a un aumento en las tasas de interés, debido a que en este escenario el precio va a disminuir con lo que se genera una desvalorización del portafolio<sup>18</sup>.

---

<sup>18</sup> No se considera el escenario en donde un agente tiene una obligación futura de venta de bonos, en el mercado de compraventas a plazo en la Bolsa, bajo este escenario el agente se vería favorecido con un aumento en las tasas puesto que lograría una venta a un precio superior. El estudio comprenderá a los tenedores de

Sobre la segunda pregunta, se va a determinar que ante un escenario de subida en las tasas de interés el agente debe tomar una posición contraria, y tenemos que en la posición de contado el agente está largo en bonos, puesto que le conviene una valorización del activo, por lo tanto, ante la expectativa de desvalorización tendría que tomar una posición contraria, es decir estar corto en la posición de futuros, con lo cual asumiría la compra futura de los bonos.

Respecto a la decisión de qué contrato utilizar, tenemos que buscar la posibilidad de un contrato de futuro con similares características en cuanto a su vencimiento. En lo posible debe determinarse una cobertura con futuros sobre todos los vencimientos existentes en el portafolio, no obstante ante escenarios de indisponibilidad de todos los contratos, deberá buscarse el más próximo<sup>19</sup>.

La cuarta pregunta, implica una revisión sobre la metodología existente para determinar el número de contratos, la cual deberá ser aplicada en los escenarios a trabajar. Para calcular el número de contratos se utiliza la siguiente fórmula (Instituto BME, 2007):

$$N = \left[ \frac{DVO1_p}{DVO1_f} \right] = \left[ \frac{S_p * N_p * FC}{S_{MBE} * N_f} \right] \quad (18)$$

En donde:

$DVO1_p$  es el cambio aproximado en valor del portafolio ( $p$ ) ante un movimiento de 1 pb en su TIR.

$DVO1_f$  es el cambio aproximado en valor del futuro ( $f$ ) ante un movimiento de 1 pb en la TIR del bono MBE.

$S_p$  es la sensibilidad promedio del portafolio.

$S_{MBE}$  es la sensibilidad del bono más barato de entregar.

$N_p$  es el valor nominal del portafolio.

$N_f$  es el valor nominal del contrato de futuro.

FC es el factor de conversión del bono más barato de entregar.

---

bonos, quienes deben valorizar a precios de mercado todos los días sus portafolios aún cuando no estén comprando o vendiendo los títulos.

<sup>19</sup> Debido a los avances durante los últimos 30 años en la profesionalización de la administración de portafolios y los beneficios que se han logrado obtener de estas nuevas prácticas, las principales bolsas de derivados del mundo han registrado contratos para cada referencia de la curva BVC (2008), sin embargo se va a revisar el caso colombiano, en donde estamos iniciando con un instrumento.

De esta manera, será posible, conociendo la expectativa de cambio en la tasa de interés, ejecutar la estrategia a seguir con futuros, (Fabozzi, 1996):

- Aumento en las tasas de interés (movimiento paralelo, con cambio de nivel): Se deberá asumir una posición corta en futuros con todos los vencimientos incluidos en el portafolio.
- Empinamiento de la curva de rendimientos: Se presenta una expectativa de aumento en las tasas del largo plazo, por lo tanto deberá abrirse una posición corta en futuros con vencimientos en el tramo largo de la curva.
- Aplanamiento de la curva: Se presenta una expectativa de aumento en las tasas del corto plazo, por lo tanto deberá abrirse una posición corta en futuros con vencimientos en el tramo corto de la curva.
- Encorvamiento: Se presenta una expectativa de aumento en las tasas del mediano plazo, por lo tanto deberá abrirse una posición corta en futuros con vencimientos en el tramo medio de la curva.

Si el agente estuviera actuando en posiciones cortas en el mercado de contado, se podrían aplicar exactamente las mismas estrategias de manera contraria, es decir tomando posiciones largas en futuros ante una expectativa de disminución de las tasas de interés.